



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201432221 A

(43)公開日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 16 日

---

(21)申請案號：103103326 (22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 29 日  
(51)Int. Cl. : G01C19/5719(2012.01) H01L41/113 (2006.01)  
(30)優先權：2013/02/04 日本 2013-019736  
(71)申請人：富士軟片股份有限公司 (日本) FUJIFILM CORPORATION (JP)  
日本  
(72)發明人：直野崇幸 NAONO, TAKAYUKI (JP) ; 中野琢磨 NAKANO, TAKUMA (JP)  
(74)代理人：葉璟宗；鄭婷文；詹富閔  
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：12 共 57 頁

---

(54)名稱

角速度感測器及其製造方法

ANGULAR VELOCITY SENSOR AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(57)摘要

利用薄膜形成技術來形成構成膜片部(12)的 1 層以上的振動板層(21、22)。當將根據角速度感測器(10)的構造體的尺寸、及材料的彈性參數計算出的共振振動模式的共振頻率設為  $f$  千赫，將錘部(14)的質量設為  $M$  毫克，將膜片部(12)的周長設為  $r$  米，將壓電體層(32)上的應力設為  $\sigma_p$  帕斯卡，將膜厚設為  $t_p$  米，將由包括下部電極及振動板層(21、22)的多層所構成的振動板部分中自錘部(14)側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$  帕斯卡，且將膜厚設為  $t_n$  米時( $n$  為自然數)，由  $T_{\text{eff}}=r(\sigma_p t_p + \sum \sigma_n t_n)/M$  表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足  $\{(-0.36f^2+210)/33\} \leq T_{\text{eff}} \leq \{(0.44f^2+210)/33\}$ 。

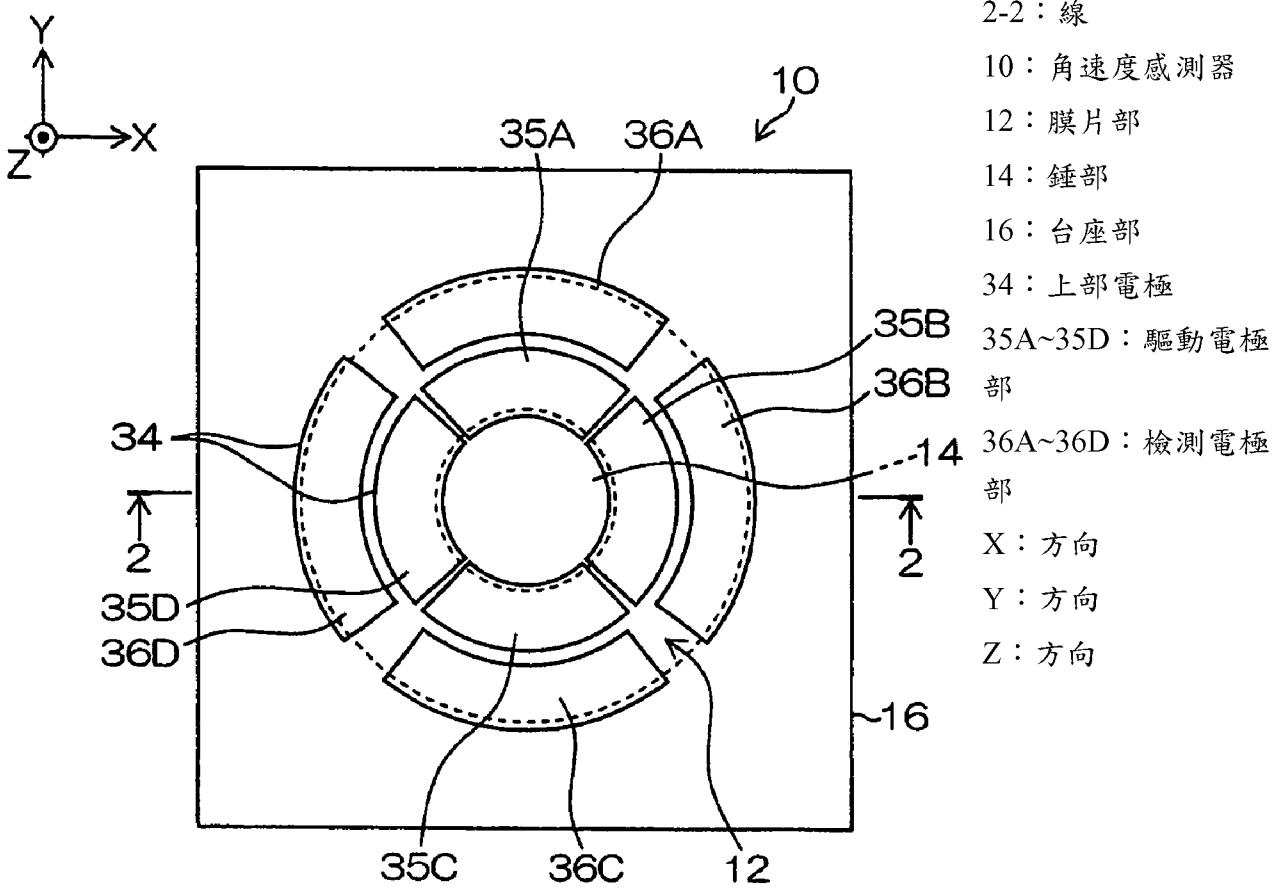


圖 1



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201432221 A

(43)公開日：中華民國 103 (2014) 年 08 月 16 日

---

(21)申請案號：103103326 (22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 29 日  
(51)Int. Cl. : **G01C19/5719(2012.01)** **H01L41/113 (2006.01)**  
(30)優先權：2013/02/04 日本 2013-019736  
(71)申請人：富士軟片股份有限公司 (日本) FUJIFILM CORPORATION (JP)  
日本  
(72)發明人：直野崇幸 NAONO, TAKAYUKI (JP) ; 中野琢磨 NAKANO, TAKUMA (JP)  
(74)代理人：葉璟宗；鄭婷文；詹富閔  
申請實體審查：無 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：12 共 57 頁

---

(54)名稱

角速度感測器及其製造方法

ANGULAR VELOCITY SENSOR AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(57)摘要

利用薄膜形成技術來形成構成膜片部(12)的 1 層以上的振動板層(21、22)。當將根據角速度感測器(10)的構造體的尺寸、及材料的彈性參數計算出的共振振動模式的共振頻率設為  $f$  千赫，將錘部(14)的質量設為  $M$  毫克，將膜片部(12)的周長設為  $r$  米，將壓電體層(32)上的應力設為  $\sigma_p$  帕斯卡，將膜厚設為  $t_p$  米，將由包括下部電極及振動板層(21、22)的多層所構成的振動板部分中自錘部(14)側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$  帕斯卡，且將膜厚設為  $t_n$  米時( $n$  為自然數)，由  $T_{\text{eff}}=r(\sigma_p t_p + \sum \sigma_n t_n)/M$  表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足  $\{(-0.36f^2+210)/33\} \leq T_{\text{eff}} \leq \{(0.44f^2+210)/33\}$ 。

## 發明摘要

※ 申請案號： 103103326

※ 申請日： 103. 1. 29

※IPC 分類：

G01C 19/5719 (2012.01)

H01L 41/113 (2006.01)

【發明名稱】角速度感測器及其製造方法

ANGULAR VELOCITY SENSOR AND METHOD  
FOR MANUFACTURING THE SAME

○ 【中文】

利用薄膜形成技術來形成構成膜片部 (12) 的 1 層以上的振動板層 (21、22)。當將根據角速度感測器 (10) 的構造體的尺寸、及材料的彈性參數計算出的共振振動模式的共振頻率設為  $f$  千赫，將錘部 (14) 的質量設為  $M$  毫克，將膜片部 (12) 的周長設為  $r$  米，將壓電體層 (32) 上的應力設為  $\sigma_p$  帕斯卡，將膜厚設為  $t_p$  米，將由包括下部電極及振動板層 (21、22) 的多層所構成的振動板部分中自錘部 (14) 側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$  帕斯卡，且將膜厚設為  $t_n$  米時 ( $n$  為自然數)，由  $T_{\text{eff}}=r(\sigma_p t_p + \sum \sigma_n t_n) / M$  表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足  $\{(-0.36f^2+210) / 33\} \leq T_{\text{eff}} \leq \{(0.44f^2+210) / 33\}$ 。

○ 【英文】

One or more vibrating plate layers (21, 22) that constitute a diaphragm part (12) are formed by a film-forming technique. When a resonance frequency in a resonance vibration mode calculated from a size of structure of an angular velocity sensor (10) and an elastic

parameter of material is set as  $f$  kilohertz, a mass of a weight part (14) is set as  $M$  milligram, a perimeter of the diaphragm part (12) is set as  $r$  metre, a stress on a piezoelectric layer (32) is set as  $\sigma_p$  pascal, a film thickness is set as  $t_p$  metre, a stress on an  $n^{\text{th}}$  layer from the weight part (14) side in a vibrating plate part consisting of a plurality of layers including a lower electrode and the vibrating plate layers (21, 22) is set as  $\sigma_n$  pascal and a film thickness is set as  $t_n$  metre ( $n$  is a natural number),  $T_{\text{eff}}$  represented by  $T_{\text{eff}}=r(\sigma_p t_p + \sum \sigma_n t_n)/M$  satisfies the following formula:

$$\{(-0.36f^2+210)/33\} \leq T_{\text{eff}} \leq \{(0.44f^2+210)/33\}.$$

### 【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1。

【本代表圖之符號簡單說明】：

2-2：線

10：角速度感測器

12：膜片部

14：錘部

16：台座部

34：上部電極

35A～35D：驅動電極部

36A～36D：檢測電極部

X、Y、Z：方向

parameter of material is set as  $f$  kilohertz, a mass of a weight part (14) is set as  $M$  milligram, a perimeter of the diaphragm part (12) is set as  $r$  metre, a stress on a piezoelectric layer (32) is set as  $\sigma_p$  pascal, a film thickness is set as  $t_p$  metre, a stress on an  $n^{\text{th}}$  layer from the weight part (14) side in a vibrating plate part consisting of a plurality of layers including a lower electrode and the vibrating plate layers (21, 22) is set as  $\sigma_n$  pascal and a film thickness is set as  $t_n$  metre ( $n$  is a natural number),  $T_{\text{eff}}$  represented by  $T_{\text{eff}}=r(\sigma_p t_p + \sum \sigma_n t_n)/M$  satisfies the following formula:

$$\{(-0.36f^2+210)/33\} \leq T_{\text{eff}} \leq \{(0.44f^2+210)/33\}.$$

### 【代表圖】

【本案指定代表圖】：圖 1。

【本代表圖之符號簡單說明】：

2-2：線

10：角速度感測器

12：膜片部

14：錘部

16：台座部

34：上部電極

35A～35D：驅動電極部

36A～36D：檢測電極部

X、Y、Z：方向

201432221

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

**【發明名稱】** 角速度感測器及其製造方法

ANGULAR VELOCITY SENSOR AND METHOD  
FOR MANUFACTURING THE SAME

## **【技術領域】**

**【0001】** 本發明是有關於一種角速度感測器 (sensor) 及其製造方法，尤其有關於一種具有由壓電膜片 (diaphragm) 支撐錘的構造的振動陀螺儀 (gyro) 式的角速度感測器及其製造技術。

## **【先前技術】**

**【0002】** 使用矽 (Si) 的精細加工 (fine machining) 技術的微機電系統 (Micro Electro Mechanical System, MEMS) 振動陀螺儀感測器具有小型、低耗電等特徵，故而，期待以行動設備 (mobile) 領域等為中心的多種用途。一般的 MEMS 振動陀螺儀感測器採用作為錘的部分由振動彈簧支撐的構造，探測當利用驅動力使錘振動、且自外部施加角速度時產生的科里奧利 (Coriolis) 力，來進行角速度檢測 (參照專利文獻 1、專利文獻 2)。

**【0003】** 例如，專利文獻 1 中提出的角速度感測器具有由壓電膜片支撐錘的構造，且成為如下構造：於垂直 (Z 共振驅動) 方向及水平 (X 共振驅動) 方向對錘進行共振振動驅動來檢測角速度。並且，專利文獻 2 中提出的角速度感測器是藉由使錘 (重錘體) 沿規定的環繞軌道進行環繞運動，而檢測 3 軸 (X 軸、Y 軸、Z 軸)

的角速度。該構造具有如下優點：小型，且能檢測全部 3 軸的周圍的角速度。

現有技術文獻

專利文獻

【0004】 專利文獻 1：日本專利特開 2010-160095 號公報

專利文獻 2：日本專利第 4012232 號說明書

## 【發明內容】

【0005】 於製作具備專利文獻 1、專利文獻 2 中提出的構造的角速度感測器時，先前，一般使用矽絕緣體（Silicon On Insulator，SOI）基板。SOI 基板具有於相對厚的矽基板（處理（handle）層）上經由 SiO<sub>2</sub> 層而積層有薄的矽層（元件（device）層）的多層構造，元件層的部分最終成為膜片的振動板。膜片的厚度根據元件的設計而有多種樣式，可根據設計而選擇適當的元件層的厚度。

【0006】 然而，SOI 晶圓（wafer）是以將 2 塊矽（Si）基板貼合且對矽基板進行研磨而調整元件層的厚度的複雜製程（process）製作，故而，與普通的 Si 晶圓相比，存在成本（cost）大幅提高、元件成本增加的問題。而且，若欲一面保持角速度感測器的共振頻率、一面使元件進一步小型化，則要求在縮小膜片直徑的尺寸的同時使膜片的厚度變薄。

【0007】 然而，於使用 SOI 晶圓的製程中，因研磨技術的問題，難以使元件層厚度均勻地變薄。因研磨精度的限制，一般而言，元件層厚度存在±0.5 微米（ $\mu\text{m}$ ）左右的不均，故而，若元件層的

厚度為 5 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下，則膜厚不均會增加至 $\pm 10\%$ 以上。膜片的厚度會大大地影響共振頻率，故而，若膜厚不均達到 $\pm 10\%$ 以上則角速度感測器的實際的共振頻率相對於設計上的共振頻率的偏差（誤差）會超過容許範圍，實際中無法實現量產。亦即，於使用現有的 SOI 晶圓的製程中，角速度感測器的小型化存在極限。另一方面，目前，隨著行動機器等的小型化、薄型化，要求角速度感測器的元件進一步小型化。

【0008】 本發明是鑒於上述情況而完成，為了解決上述問題，其目的在於提供一種能以低於現有的角速度感測器的成本進行製作、且能進一步小型化的角速度感測器及其製造方法。

【0009】 為了達成上述目的，提供如下的發明形態。

【0010】 （第 1 形態）：第 1 形態的角速度感測器具備：膜片部（diaphragm part），具有積層構造且具有可撓性，上述積層構造是由圖案（pattern）配置有驅動電極部及檢測電極部的上部電極、壓電體層、下部電極及 1 層以上的振動板層積層而成；台座部，支撐膜片部的外周；及錘部，接合於膜片部的中心部；且上述角速度感測器藉由經由驅動電極部而對壓電體層施加電場，而利用壓電體的逆壓電效應來使錘部振動，且利用壓電效應而由檢測電極部檢測出錘部基於科氏力（Coriolis force）而產生的位移（displacement）；上述角速度感測器中：振動板層是利用薄膜形成技術而成膜，當將根據角速度感測器的構造體的尺寸、及構成構造體的材料彈性參數（parameter）而計算出的共振振動模式

(mode) 的共振頻率設為  $f$  (單位為千赫[kHz])，將錘部的質量設為  $M$  (單位為毫克[mg])，將膜片部的周長設為  $r$  (單位為米[m])，將壓電體層上的應力設為  $\sigma_p$  (單位為帕斯卡 (pascal) [Pa])，將壓電體層的膜厚設為  $t_p$  (單位為米[m])，將由包括下部電極及上述 1 層以上的振動板層的多層所構成的振動板部分中自錘部側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$  (單位為帕斯卡[Pa])，將第  $n$  層的膜厚設為  $t_n$  (單位為米[m]) 時 ( $n$  為自然數)，

【0011】 [數 1]

$$T_{eff} = \frac{r \left( \sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n \right)}{M}$$

【0012】 所表示的  $T_{eff}$  滿足

【0013】 [數 2]

$$\frac{-0.36f^2 + 210}{33} \leq T_{eff} \leq \frac{0.44f^2 + 210}{33}$$

【0014】 。

【0015】 根據第 1 形態，作為膜片部的振動板而發揮功能的層是利用薄膜形成技術而成膜。作為對因成膜的各層的殘留應力的影響所致的共振頻率相對於設計值的偏差（偏移 (shift) 量）進行評價的指標，導入由[數 1]定義的  $T_{eff}$ 。

【0016】  $T_{eff}$  相當於將因具有多層構造的膜片部的應力所產生的拉伸的能量 (energy) 除以錘部的質量  $M$  而得的值，且與因膜片部的應力所產生的共振頻率的偏移量相關。根據實驗結論可知，

以使  $T_{\text{eff}}$  處於滿足[數 2]的關係的範圍內的方式決定各層的應力及膜厚，藉此能使共振頻率相對於設計值  $f$  的偏移處於 $\pm 20\%$ 的容許範圍內。

【0017】 根據第 1 形態，無需使用 SOI 基板，而能使用普通的矽基板等進行製作，故而，能以低於現有的角速度感測器的成本進行製作。而且，因利用薄膜形成技術而能高精度地成膜為膜厚不均少的薄膜，故可實現較現有的構成更進一步的薄膜化、元件的小型化。

【0018】 (第 2 形態)：第 1 形態的角速度感測器中，可構成爲滿足

【0019】 [數 3]

$$\frac{-0.28f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.32f^2 + 210}{33}$$

【0020】 。

【0021】 以使  $T_{\text{eff}}$  處於滿足[數 3]的關係的範圍內的方式來決定各層的應力及膜厚，藉此能使共振頻率相對於設計值  $f$  的偏移處於 $\pm 15\%$ 的容許範圍內。

【0022】 (第 3 形態)：第 1 形態的角速度感測器中，可構成爲滿足

【0023】 [數 4]

$$\frac{-0.19f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.21f^2 + 210}{33}$$

【0024】 。

【0025】 以使  $T_{\text{eff}}$  處於滿足[數 4]的關係的範圍內的方式決定各層的應力及膜厚，藉此能使共振頻率相對於設計值  $f$  的偏移處於  $\pm 10\%$  的容許範圍內。

【0026】 (第 4 形態)：第 1 形態至第 3 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲振動板層的膜厚爲 5 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下。

【0027】 振動板部分的合計膜厚越薄，則越能使膜片小型化。

【0028】 (第 5 形態)：第 1 形態至第 4 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲具有共振頻率  $f$  的振動模式是錘部於膜厚方向上進行平移運動 (translational motion) 的振動形態。

【0029】 (第 6 形態)：第 1 形態至第 5 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲振動板層是由氣相成膜形成的膜。

【0030】 氣相成膜法適於形成 5  $\mu\text{m}$  以下的薄膜，因此，在實現於使用 SOI 基板的現有的構成下難以製作的 5  $\mu\text{m}$  以下的薄膜化方面，本發明的形態尤其有利。根據本發明形態，能使振動板部分的合計膜厚較 5  $\mu\text{m}$  更薄，能成爲使振動板部分的合計膜厚成爲 4  $\mu\text{m}$  以下的形態，進而，亦可成爲使振動板部分的合計膜厚成爲 3  $\mu\text{m}$  以下的形態。而且，氣相成膜法在能高精度地形成所需膜厚的方面有利。因此，能大幅地降低元件動作 (device operation) 相對於設計的誤差。

【0031】 (第 7 形態)：第 1 形態至第 6 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲壓電體層是利用濺射 (sputtering) 法成膜的薄膜。

【0032】 若利用濺射法形成壓電體膜且進行薄膜化，則精細加工變得容易。

【0033】 而且，藉由使用以濺射法為代表的氣相生長法或溶膠-凝膠 (sol-gel) 法等直接成膜法，能獲得具有所需的壓電性能的壓電體薄膜。藉由在基板上直接成膜為壓電體的薄膜，且利用乾式蝕刻 (dry etching) 或濕式蝕刻 (wet etching) 等半導體製程進行加工，能使元件的製作製程變得簡便。

【0034】 (第 8 形態)：第 1 形態至第 7 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成為壓電體層是由下述式 (P) 表示的 1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物 (perovskite type oxide)：

【0035】 通式  $ABO_3\dots$  (P)

式中，A：A 位置 (site) 的元素，且為包含 Pb 的至少 1 種元素；

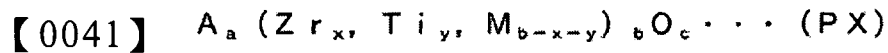
【0036】 B：B 位置的元素，且為選自由 Ti、Zr、V、Nb、Ta、Sb、Cr、Mo、W、Mn、Sc、Co、Cu、In、Sn、Ga、Zn、Cd、Fe 及 Ni 組成的群組中的至少 1 種元素；

【0037】 O：氧元素；

【0038】 A 位置元素、B 位置元素與氧元素的莫耳比的標準是 1：1：3，但它們的莫耳比亦可於能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。

【0039】 上述壓電體具有良好的壓電特性，且適於進行驅動及檢測的角速度感測器。

【0040】（第 9 形態）：第 1 形態至第 7 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲壓電體層是由下述式（PX）表示的 1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物：



式中，A：A 位置的元素，且爲包含 Pb 的至少 1 種元素；

【0042】 M 爲選自由 V、Nb、Ta 及 Sb 組成的群組中的至少 1 種元素；

$$\text{【0043】 } 0 < x < b, 0 < y < b, 0 \leq b - x - y;$$

【0044】 標準爲  $a : b : c = 1 : 1 : 3$ ，但它們的莫耳比可於能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。

【0045】 上述壓電體具有良好的壓電特性，且適於進行驅動及檢測的角速度感測器。

【0046】（第 10 形態）：第 1 形態至第 9 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲：振動板層是於矽基板上成膜而獲得；錘部與台座部包含藉由對形成有振動板層的矽基板的一部分進行移除處理（removal processing）而殘留的矽基板的殘餘部。

【0047】 根據第 9 形態，能使用較 SOI 基板廉價的矽基板來製造角速度感測器。

【0048】（第 11 形態）：第 1 形態至第 10 形態中任一形態所述的角速度感測器中，可構成爲：膜片部具有俯視時呈圓或橢圓的外周形狀，錘部配置於與膜片部的中心軸共通的圓或橢圓的同心位置。

【0049】（第 12 形態）：第 12 形態的角速度感測器的製造方法中，上述角速度感測器具備：膜片部，具有積層構造且具有可撓性，上述積層構造是由圖案配置（pattern arranging）有驅動電極部及檢測電極部的上部電極、壓電體層、下部電極、1 層以上的振動板層積層而成；台座部，支撐膜片部的外周；及錘部，接合於膜片部的中心部；且上述角速度感測器藉由經由驅動電極部而對壓電體層施加電場，而利用壓電體的逆壓電效應而使上述錘部振動，且利用壓電效應而由檢測電極部檢測出錘部基於科氏力而產生的位移；上述角速度感測器的製造方法中，使用薄膜形成技術形成上述 1 層以上的上述振動板層，以如下方式調節  $\sigma_p$ 、 $\sigma_n$ 、 $t_n$  及  $t_p$ ：當將根據上述角速度感測器的構造體的尺寸、及構成上述構造體的材料的彈性參數而計算出的共振振動模式的共振頻率設為  $f$ （單位為千赫[kHz]），將錘部的質量設為  $M$ （單位為毫克[mg]），將膜片部的周長設為  $r$ （單位為米[m]），將壓電體層上的應力設為  $\sigma_p$ （單位為帕斯卡[Pa]），將壓電體層的膜厚設為  $t_p$ （單位為米[m]），將由包括上述下部電極及上述 1 層以上的振動板層的多層所構成的振動板部分中自上述錘部側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$ （單位為帕斯卡[Pa]），將第  $n$  層的膜厚設為  $t_n$ （單位為米[m]）時（ $n$  為自然數），

【0050】 [數 5]

$$T_{\sigma} = \frac{r \left( \sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n \right)}{M}$$

【0051】 所表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足

【0052】 [數 6]

$$\frac{-0.36f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.44f^2 + 210}{33}$$

【0053】 。

【0054】 根據第 12 形態，能使共振頻率相對於設計值  $f$  的偏移處於 $\pm 20\%$ 的容許範圍內。而且，根據第 12 形態，能以低於現有的角速度感測器的成本進行製作。而且，能較現有的構成而進一步實現薄膜化、元件的小型化。

【0055】 第 12 形態中，可將第 2 形態至第 11 形態的特定事項適當組合。

[發明的效果]

【0056】 根據本發明，能以低於使用 SOI 基板而製作的現有的角速度感測器的成本進行製作。而且，根據本發明，能使角速度感測器進一步小型化，使相對於設計上的共振頻率的偏差處於容許範圍內。

【圖式簡單說明】

【0057】

圖 1 是表示本發明的實施方式的角速度感測器的構成的俯視圖。

圖 2 是沿圖 1 的 2-2 線的剖面圖。

圖 3 是表示 Z 方向（垂直方向）的共振振動驅動時的狀況的

示意圖。

圖 4 是表示 X 方向（水平方向）的共振振動驅動時的狀況的示意圖。

圖 5A 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

圖 5B 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

圖 5C 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

圖 5D 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

圖 5E 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

圖 6A 是使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明圖。

圖 6B 是使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明圖。

圖 6C 是使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明圖。

圖 6D 是使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明圖。

圖 7 是對積層構造體的各參數進行例示的示意圖。

圖 8A 是第 1 例（case）的參數的定義的說明圖。

圖 8B 是第 1 例的參數的定義的說明圖。

圖 8C 是第 1 例的參數的定義的說明圖。

圖 9A 是第 2 例的參數的定義的說明圖。

圖 9B 是第 2 例的參數的定義的說明圖。

圖 9C 是第 2 例的參數的定義的說明圖。

圖 9D 是第 2 例的參數的定義的說明圖。

圖 10 是表示試製的實驗例的角速度感測器的構造的俯視圖。

圖 11 是沿圖 10 的 11-11 線的剖面圖。

圖 12 是根據實驗例 1～實驗例 11 的結果而繪製 (plot) 出  $T_{\text{eff}}$  與共振頻率的平方差 ( $\Delta f^2$ ) 的關係的座標圖 (graph)。

### 【實施方式】

【0058】 以下，依照隨附圖式對本發明的實施方式進行詳細說明。

### 【0059】 〈角速度感測器的構造例〉

圖 1 是表示本發明的實施方式的角速度感測器的構成的俯視圖，圖 2 是沿圖 1 的 2-2 線的剖面圖。

【0060】 該角速度感測器 10 具備具有俯視時呈圓形的外周形狀的膜片部 12、由膜片部 12 的中心部支撐的錘部 14、及支撐膜片部 12 的外周的台座部 16。膜片部 12 具有積層構造 (多層構造)，該積層構造是自接合有錘部 14 之側 (圖 2 中為下表面側) 朝向膜厚方向上的遠離錘部 14 的方向 (圖 2 的上方) 而依序積層有振動板層 20、下部電極 30、壓電體層 32、上部電極 34 而成。該膜片部 12 具有可撓性，且其外周部的全周 (whole circumference) 固定於台座部 16。

【0061】 振動板層 20 包含使用薄膜形成技術而成膜的 1 層以上的薄膜。本例中，例示出將第 2 振動板層 22 重疊於第 1 振動板層 21 上而成膜的 2 層構造的振動板層 20 (參照圖 2)，但振動板層 20 的構造並不限於該示例。振動板層 20 既可包含 1 層，亦可包含由 2 層以上的層形成的多層的積層構造 (多層薄膜)。

【0062】 而且，不僅振動板層 20 (21、22) 是使用薄膜形成技術

而成膜，構成膜片部 12 的其他層（30、32、34）亦是使用薄膜形成技術而形成。薄膜形成技術包含物理氣相成膜法（物理氣相沈積（physical vapor deposition，PVD）、化學氣相成膜法（化學氣相沈積（chemical vapor deposition，CVD）、液相成膜法（鍍敷、塗佈、溶膠-凝膠法、旋塗（spin coat）法等）、熱氧化法。可針對各個層選擇適當的成膜法。

【0063】再者，關於圖 2 及其他圖式中所示的各層的膜厚或它們的比率，為了便於說明而適當加以變更進行描繪，未必反映出實際的膜厚或比率。而且，本說明書中，當表達積層構造時，記為「將 B 積層於 A 上」時的「上」是將自 A 於膜的厚度方向上遠離的方向表達為「上」。當於將 A 水平地保持的狀態下使 B 重疊於 A 的上表面而構成時，該「上」與將重力方向設為下方向時的上下方向一致。然而，亦可使 A 的姿勢傾斜、或上下顛倒。因此，即便當依存於基板或膜的姿勢的積層構造的積層方向未必與以重力方向為基準的上下方向一致時，為了亦不混亂地表達積層構造的上下關係，而以某一作為基準的構件（例如 A）的面為基準，將自該面於厚度方向上遠離的方向表達為「上」。而且，「將 B 積層於 A 上」的表達並不限於使 B 接觸 A 而直接積層於 A 上的情況。亦可存在於 A 與 B 之間介隔有其他 1 層或多層而使 B 經由 1 層或多層而積層於 A 上的情況。

【0064】圖 2 的示例中，於構成台座部 16 及錘部 14 的基板（矽基板）上，按照第 1 振動板層 21、第 2 振動板層 22、下部電極 30、

壓電體層 32、上部電極 34 的順序進行成膜。

【0065】 形成於壓電體層 32 上的上部電極 34 中，圖案形成（patterning）有作為驅動用電極發揮功能的驅動電極部 35A～驅動電極部 35D、及作為檢測用電極發揮功能的檢測電極部 36A～檢測電極部 36D（參照圖 1）。為了使驅動電極部 35A～驅動電極部 35D 及檢測電極部 36A～檢測電極部 36D 分別作為獨立的電極發揮功能，而使各電極部（35A～35D、36A～36D）以單獨分離的形態進行圖案配置。

【0066】 本實施方式中，成為將中心軸  $C_L$  作為對稱軸的旋轉對稱的電極圖案，該中心軸  $C_L$  通過具有俯視時呈圓形的外周形狀的膜片部 12 的圓的中心。錘部 14 配置於與膜片部 12 的中心軸  $C_L$  共通的同心位置。

【0067】 關於圖 1 所示的驅動電極部 35A～驅動電極部 35D 及檢測電極部 36A～檢測電極部 36D 的圖案配置，是例示了若圍繞中心軸  $C_L$  旋轉 90 度則重疊的 4 次對稱的圖案，但上部電極 34 的圖案配置形態並不限於圖 1 的示例，而可為多種配置形態。而且，亦可調換驅動電極部 35A～驅動電極部 35D 與檢測電極部 36A～檢測電極部 36D。

【0068】 於驅動電極部 35A～驅動電極部 35D 與下部電極 30 之間介隔有壓電體層 32 的部分構成為驅動用壓電元件部。藉由向驅動用壓電元件部的電極間施加驅動電壓（藉由向壓電體層 32 施加電場），可利用壓電體的逆壓電效應而使膜片部 12 及錘部 14 振

動。包含驅動電極部 35A～驅動電極部 35D 的驅動用壓電元件部因與未圖示的驅動用電力的供給源（驅動電路）連接，故作為使錘部 14 振動的激振裝置（excitation means）發揮功能。

【0069】 而且，於檢測電極部 36 與下部電極 30 之間介隔有壓電體層 32 的部分構成爲檢測用壓電元件部。若對振動的錘部 14 施加角速度，則科氏力發揮作用，使錘部 14 的振動產生位移。利用壓電體的壓電效應來檢測錘部 14 基於該科氏力而產生的位移，且自檢測電極部 36 獲得電訊號（檢測訊號）。包含檢測電極部 36A～檢測電極部 36D 的檢測用壓電元件部因與未圖示的檢測訊號的處理電路（檢測電路）連接，故作為檢測錘部 14 的位移的位移檢測裝置發揮功能。

【0070】 再者，以下，爲了便於說明，導入正交 XYZ 軸，該正交 XYZ 軸中，將膜片部 12 的圓的中心作為原點，將圖 1 的左右方向作為 X 軸方向，將與左右方向正交的圖 1 的縱方向作為 Y 軸方向，將圖 1 的紙面垂直方向作為 Z 軸方向。圖 2 所示的中心軸  $C_L$  是與 Z 軸平行的軸。

【0071】 圖 3 是表示 Z 方向的共振振動驅動時的狀況的示意圖，圖 4 是表示 X 方向的共振振動驅動時的狀況的示意圖。再者，圖 3、圖 4 中，省略了台座部 16 的圖示而僅表示膜片部 12 及錘部 14。

【0072】 如圖 3 所示，若於與膜片部 12 的面垂直的方向（Z 方向）對錘部 14 進行共振驅動，則具有可撓性的膜片部 12 會於 Z 方向位移，故而，由檢測電極部 36A～檢測電極部 36D 根據該位

移而獲得檢測訊號。

【0073】 而且，若如圖 4 所示於 X 方向（水平方向）對錘部 14 進行共振驅動，則由各檢測電極部 36A～檢測電極部 36D 根據與該振動方向對應的膜片部 12 的位移而獲得相應的檢測訊號。藉由根據驅動振動的檢測訊號而使自激振盪電路動作，能維持共振振動狀態。而且，若利用科氏力的作用而使錘部 14 於與共振驅動方向不同的方向上振動，則可獲得與其位移對應的檢測訊號，故而能根據檢測訊號檢測出角速度。

【0074】 再者，關於角速度的檢測原理，與專利文獻 1、專利文獻 2 中揭示的相同；關於膜片部 12 的驅動方法，可採用專利文獻 1 中揭示的方法或專利文獻 2 中揭示的方法。

【0075】 〈角速度感測器的製造方法的示例〉

圖 5A～圖 5E 是本實施方式的角速度感測器的製造方法的說明圖。

【0076】 （步驟 1）首先，準備矽（Si）基板 110（參照圖 5A）。此處使用的 Si 基板 110 並非 SOI 基板，而使用較 SOI 基板更廉價的普通的矽晶圓。

【0077】 （步驟 2）繼而，於該 Si 基板 110 的一側面，利用氣相成膜等薄膜形成技術形成 1 層以上的振動板層 120（「振動板層成膜工序」）。圖 5B 中，例示出自靠近 Si 基板 110 之側起形成第 1 振動板層 121、且將第 2 振動板層 122 重疊於第 1 振動板層 121 上而形成的 2 層構造的振動板層，但振動板層 120 的構成既可為 1

層，又可為 2 層以上甚至是多層的積層構造。

【0078】（步驟 3）繼而，於振動板層 120 上形成下部電極 130（「下部電極形成工序」）。

【0079】（步驟 4）繼而，於下部電極 130 上形成壓電體層 132（「壓電體層成膜工序」）。圖 5C 中，圖示出成膜有下部電極 130 及壓電體層 132 的狀況的壓電體層 132 是例如利用濺射法而成膜。

【0080】（步驟 5）繼而，於壓電體層 132 上形成上部電極 134。作為上部電極 134，圖案形成有驅動電極部 135 及檢測電極部 156（參照圖 5D，「上部電極形成工序」）。

【0081】（步驟 6）其後，藉由自背面側對 Si 基板 110 進行深挖蝕刻，而對 Si 基板 110 的一部分進行移除處理，其殘餘部形成錘部 114 及台座部 116（圖 5E，「基板加工工序」）。利用該基板加工工序，使錘部 114 的周圍除去而成為圓環上的槽，該經除去後的部分成為作為膜片部 112 的驅動部及檢測部發揮功能的區域。

【0082】〈使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明〉

為了進行比較，對於使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程進行說明。圖 6A～圖 6D 是使用 SOI 基板的角速度感測器的製造製程的說明圖。

【0083】如圖 6A 所示，SOI 基板 600 是多層構造的基板，其中，於作為處理層 602 的矽基板與表面的矽層（記作「元件層」）604 之間插入有 SiO<sub>2</sub> 層 606。元件層 604 是最終作為膜片部的振動板發揮功能的層，且其膜厚可藉由研磨而調整。

【0084】 使用此種 SOI 基板 600，如圖 6B 所示，於 SOI 基板 600 的元件層 604 上形成下部電極 630，於其上成膜壓電體層 632。

【0085】 其後，如圖 6C 所示，於壓電體層 632 上圖案形成有作為上部電極 634 的驅動電極部 635 及檢測電極部 636。

【0086】 接著，如圖 6D 所示，藉由對處理層 602 進行深挖蝕刻，而對處理層 602 的一部分進行移除處理，其殘餘部形成錘部 614 及台座部 616。殘留於經深挖蝕刻除去後的部分（符號 612）中的元件層 604 發揮振動板的作用。

【0087】 圖 6A～圖 6D 中所說明的製程中，是利用研磨來調整元件層 604 的膜厚，故而，因研磨技術的限制，使得膜厚難以進一步薄型化、均一化，且元件的小型化存在極限。而且，SOI 基板的價格高於普通的 Si 基板。

【0088】 關於此方面，根據圖 5A～圖 5E 中所說明的製造製程，是使用廉價的 Si 基板，且由利用薄膜形成技術而成膜的薄膜來形成振動板層，故能以低成本製作，且能獲得膜厚不均少的薄膜的振動板層，能使元件進一步小型化。

【0089】 膜片部的厚度可適當地設計，振動板層的膜厚可構成為 5 微米以下。而且，可將由包括 1 層以上的振動板層及下部電極的多層所構成的振動板部分的合計膜厚構成為 5 微米以下。

【0090】 〈利用薄膜形成技術時的技術問題〉

圖 1～圖 4 中例示的振動陀螺儀方式的角速度感測器 10 中的錘部 14 的驅動及角速度的檢測利用的是共振振動，故而，共振頻

率的設計非常重要。因此，一般而言，根據構造體的尺寸、及構成構造體的材料的彈性參數，使用有限元素法（finite element method, FEM）等模擬（simulation）手法，來計算出陀螺儀驅動、檢測的任一者中使用的共振振動模式的共振頻率，且根據計算出的共振頻率來進行元件設計。

【0091】 然而，於包含利用薄膜形成技術而成膜的薄膜的膜片部上存在殘留應力，故而，該殘留應力會影響元件的共振頻率，從而產生共振頻率與設計值不同的問題。即，實際製作的元件中，因構造體的殘留應力，使得共振頻率變得與設計值不同。尤其是，當使用如膜片部 12 般的多層薄膜作為振動板時，構成振動板部分的各個層上存在的殘留應力會影響共振頻率，從而存在作為元件無法獲得與設計相同的感度的問題。

【0092】 〈用於解決問題的原因調查及對策〉

關於膜的殘留應力與相對於設計的共振頻率的偏差的關係，以如下方式進行研究。

【0093】 於圖 1～圖 4 中所例示的振動陀螺儀的構造中，若將由膜片部支撐的錘部的最大運動能量設為  $K$ ，將膜片部的最大彈性能量設為  $U$ ，將由膜片部的張力所產生的最大勢能（potential energy）設為  $N$ ，則於共振狀態下，下式（1）成立。

$$[數 7] U + N = K \dots \text{式 (1)}$$

此處，若將最大位移量設為  $x$ ，將共振頻率設為  $f$ ，將彈簧常數設為  $k$ ，將錘部的質量設為  $m$ ，將錘部的速度設為  $v$ ，將膜片部

的張力設為  $T$ ，則為

【0094】 [數 8]

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times 4x^2\pi^2 f^2 \quad \dots \text{式 (2)}$$

【0095】 [數 9]

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \quad \dots \text{式 (3)}$$

【0096】 。

【0097】 關於膜片部產生  $X$  的位移時的張力所致的反作用力  $F$ ，於  $X$  及  $T$  微小的區域，由下式 (4) 表示。

【0098】 [數 10]

$$F = \alpha Tx \quad \dots \text{式 (4)}$$

【0099】  $\alpha$  是比例常數。此時，張力所形成的勢能  $N$  成為下式 (5)。

【0100】 [數 11]

$$N = \int F dx = \frac{1}{2} \alpha Tx^2 \quad \dots \text{式 (5)}$$

【0101】 若將式 (2)、式 (3)、式 (5) 帶入式 (1) 進行整理，則成為下式 (6)。

【0102】 [數 12]

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2} \left( \frac{k}{m} + \frac{\alpha T}{m} \right) \quad \dots \text{式 (6)}$$

【0103】 式 (6) 的右邊的第一項是張力未發揮作用時的共振頻率，且是使用有限元素法 (FEM) 等算出的設計值。若因構成振

動板層的膜的殘留應力等原因使得膜片部產生張力，則因式（6）的右邊第二項的影響使共振頻率偏離設計值。

【0104】 該式（6）中的  $T/m$  相當於後述的  $T_{\text{eff}}$ 。

【0105】 本發明中，導入下式（7）所定義的  $T_{\text{eff}}$  這一指標。

【0106】 [數 13]

$$T_{\text{eff}} = \frac{r \left( \sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n \right)}{M} \quad \dots \text{式 (7)}$$

【0107】 式（7）中，將錘部的質量設為  $M$ （單位為毫克[mg]），將膜片部的周長設為  $r$ （單位為米[m]），將壓電體層上的應力設為  $\sigma_p$ （單位為帕斯卡[Pa]），將壓電體層的膜厚設為  $t_p$ （單位為米[m]），將由包括下部電極及 1 層以上的振動板層的多層所構成的振動板部分中自錘部之側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$ （單位為帕斯卡[Pa]），將該第  $n$  層的膜厚設為  $t_n$ （單位為米[m]）（ $n$  為自然數）。

【0108】 再者，於式（7）所表示的  $T_{\text{eff}}$  的定義下的振動板部分包含下部電極（共通電極）。

【0109】 爲了參考，於圖 7 中表示對式（7）中所示的各參數進行例示的示意圖。於圖 7 所示的構造體中，表示振動板層包含第 1 振動板層 121、第 2 振動板層 122、第 3 振動板層 123 的 3 層構造（ $n=1、2、3$ ）的示例。圖 7 中的第 3 振動板層 123 是與圖 2 中所說明的下部電極 130 對應。

【0110】 就圖 7 的構造體而言，振動板部分 150 包含第 1 振動板層 121、第 2 振動板層 122、第 3 振動板層 123。亦即，將振動板

層（121、122）及下部電極 130 的積層體作為「振動板部分」處理。圖 7 中，圖示有第 1 振動板層 121 上的拉伸方向的殘留應力  $\sigma_1$ 、第 2 振動板層 122 上的壓縮方向的殘留應力  $\sigma_2$ 、第 3 振動板層 123 上的拉伸方向的殘留應力  $\sigma_3$ 、壓電體層 132 上的拉伸方向的殘留應力  $\sigma_p$ ，且圖中的箭頭表示各層上的應力的方向及大小。

【0111】 繼而，於下文敘述實際的  $T_{\text{eff}}$  的計算方法。

【0112】 多數情況下，式（7）中定義的各層的應力  $\sigma_n$ 、 $\sigma_p$  不明確，但振動板層與壓電體層的複合膜（積層構造）上的平均應力  $\sigma_{\text{ave}}$ 、與複合膜的合計膜厚  $t_{\text{total}}$  分別存在如下關係。

【0113】 [數 14]

$$\sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n = \sigma_{\text{ave}} t_{\text{total}} \quad \dots \text{式 (8)}$$

【0114】 [數 15]

$$t_{\text{total}} = t_p + \sum_n t_n \quad \dots \text{式 (9)}$$

【0115】 因此，藉由使用如下所示的式（10）、式（11）計算  $\sigma_{\text{ave}}$ ，可簡單地求出  $T_{\text{eff}}$ 。

【0116】 [數 16]

$$\sigma_{\text{ave}} = \frac{E_p t_p^2}{6(1-\nu) t_{\text{total}} R'} \quad \dots \text{式 (10)}$$

【0117】 [數 17]

$$R' = \frac{1}{\left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)} \quad \dots \text{式 (11)}$$

【0118】 此處， $R_1$ 、 $R_2$ 、 $E_s$ 、 $t_s$  的各參數的定義如圖 8A～圖 8C、圖 9A～圖 9D 所示。

【0119】 圖 8A～圖 8C、圖 9A～圖 9D 是各參數的定義的說明圖。圖 8A～圖 8C 是第 1 例的  $R_1$ 、 $R_2$  的定義的說明圖，圖 9A～圖 9D 是第 2 例的  $R_1$ 、 $R_2$  的定義的說明圖。此處，爲了便於說明，例示出振動板部分包含 2 層構造的情況，但當振動板部分包含更多層的構造時亦相同。

【0120】 〈第 1 例〉

圖 8A～圖 8C 所示的第 1 例是例如使用單晶矽晶圓作爲基板 210 的情況。如圖 8A 所示，將基板 210 的板厚設爲  $t_s$ 。如圖 8B 所示，於該基板 210 上，依序成膜有第 1 振動板層 221、第 2 振動板層 222、壓電體層 230。

【0121】 第 1 振動板層 221 的膜厚爲  $t_1$ ，第 2 振動板層 222 的膜厚爲  $t_2$ ，壓電體層 230 的膜厚爲  $t_p$ 。第 2 振動板層 222 是對應於下部電極的層。圖 8B 中雖未圖示，但於壓電體層 230 上形成有圖案配置而成的上部電極。

【0122】 其後，如圖 8C 所示，自基板 210 的背面側利用深挖蝕刻而對基板 210 的一部分進行移除處理，其殘餘部形成爲錘部 214 及台座部 216。利用該移除處理被除去了矽層的部分發揮膜片部 212 的驅動部及檢測部的作用。

【0123】 於上述製造製程中，將成膜爲第 1 振動板層 221 之前的初始狀態（圖 8A）下的基板 210 的曲率半徑設爲  $R_1$ ，將包含壓電

體層 230 在內的各層（221、222、230）成膜後的且深挖蝕刻前的狀態（圖 8B）下的積層構造體的曲率半徑設為  $R_2$ 。

【0124】 就單晶矽晶圓而言，於初始狀態（圖 8A）下，因不存在殘留應力，故曲率半徑  $R_1$  無限大，亦即，成為  $1/R_1=0$ ，滿足式（11）的  $R'=R_2$ 。

【0125】 式（10）中的  $E_s$  是基板 210 的楊氏模量（Young's modulus）。 $\gamma$  是帕松比（Poisson's ratio）。

【0126】 〈第 2 例〉

圖 9A～圖 9D 所示的第 2 例是具有最終並非構成爲振動板的膜層的情況。如圖 9A 所示，使用作爲基底（base）的基材 250，對該基材 250，如圖 9B 所示，於基材 250 的一側面或兩面附加最終並非成爲振動板的膜層 251、膜層 252（圖 9B）。圖 9B 中，表示出於基材 250 的下表面及上表面設有膜層 251、膜層 252 的示例，但亦可爲僅於任一面（一側面）形成膜層的形態。

【0127】 當具有最終並非構成振動板的膜層 251、膜層 252 時，將於該等膜層 251、膜層 252 及基材 250 成爲積層體 260 的狀態下測定出的曲率半徑設為  $R_1$ 。而且，將基材 250 的厚度  $t_{s0}$ 、膜層 251 的膜厚  $t_{s1}$  及膜層 252 的膜厚  $t_{s2}$  的合計厚度設為  $t_s$  ( $t_s=t_{s0}+t_{s1}+t_{s2}$ )。亦即，圖 9B 的積層體 260 可理解爲相當於圖 8A 的基板 210 的構件。此時的  $E_s$  表示整個積層體 260 的楊氏模量。

【0128】 如圖 9C 所示，於該積層體 260 的膜層 252 上，依序成膜有第 1 振動板層 221、第 2 振動板層 222、壓電體層 230。雖圖

9C 中未圖示，但於壓電體層 230 上形成有經圖案配置的上部電極。

【0129】 其後，如圖 9D 所示，自積層體 260 的背面側（膜層 251 側）利用深挖蝕刻而對積層體 260 的一部分進行移除處理，其殘餘部形成為錘部 264 及台座部 266。藉由該移除處理而被除去了膜層 251、膜層 252 及基材 250 的部分發揮膜片部 262 的驅動部及檢測部的作用。如圖 9D 所示，膜層 251、膜層 252 最終並未成為膜片部 262 的振動板。

【0130】 於上述製造製程中，將成膜為第 1 振動板層 221 之前的初始狀態（圖 9B）下的基體（積層體 260）的曲率半徑設為  $R_1$ ，將包含壓電體層 230 在內的各層（221、222、230）成膜後的且深挖蝕刻前的狀態（圖 9C）下的積層構造體的曲率半徑設為  $R_2$ 。

【0131】 如圖 8A～圖 8C、圖 9A～圖 9D 中的說明所述，所謂的定義曲率半徑  $R_1$  時的「基板」，當具有最終並非成為振動板的膜層時，表示全部附有上述膜層的狀態下的基體（積層構造體）。而且，曲率半徑  $R_1$ 、 $R_2$  定義為形成有振動板層之側的面於凹狀態下取正（plus）值、而於凸狀態下取負（minus）值。

【0132】 可利用圖 8A～圖 8C、圖 9A～圖 9D 中所說明的參數計算出複合膜的平均應力  $\sigma_{ave}$ 。

【0133】 〈問題的解決手段〉

本實施方式中，於由具有可撓性的膜片部支撐錘部的構造的角速度感測器中，構造設為：具備於矽基板上利用氣相成膜等薄膜形成技術而成膜有 1 層以上的振動板層。而且，根據後述的實

驗結果發現，式（6）的右邊第二項的成分與  $T_{\text{eff}}$  大體存在比例關係。另外發現，以使  $T_{\text{eff}}$  處於滿足特定的條件（[數 2]的式子）的範圍內的方式設定各層的應力、膜厚，藉此能使共振頻率相對於設計值的偏移量處於容許範圍（ $\pm 20\%$ ）以內。

**【0134】** 〈實施例〉

圖 10 是表示試製的實驗例的角速度感測器的構造的俯視圖，圖 11 是沿圖 10 中的 11-11 線的剖面圖。圖 10、圖 11 分別與圖 1、圖 2 中所說明的構造相同，關於以下所述的各實驗例的元件的尺寸的定義，如圖 10、圖 11 所示，將膜片部 12 的外徑（橢圓時，為長徑）設為  $\varphi_d$ ，將錘部 14 的外徑（橢圓時，為長徑）設為  $\varphi_m$ ，將錘部 14 的厚度設為  $h$ 。再者，就俯視時呈圓形的膜片部而言，周長  $r$  由  $\pi \times \varphi_d$  表示。

**【0135】** 於厚度為  $h$ （單位為微米[ $\mu\text{m}$ ]）的 Si 基板上，利用各種氣相成膜法成膜有振動板層 1、振動板層 2、振動板層 3。「振動板層 1」相當於第 1 振動板層（圖 2 的符號 21、圖 5E 的符號 121），「振動板層 2」相當於第 2 振動板層（圖 2 的符號 22、圖 5E 的符號 122），「振動板層 3」相當於下部電極（圖 2 的符號 30，圖 5E 的符號 130，第 3 振動板層）（參照圖 2、圖 5E）。

**【0136】** 其後，使用高頻（射頻（radio frequency, Rf））濺射裝置成膜壓電體（鋁鈦酸鉛，PZT）膜。成膜氣體使用的是 97.5% 的 Ar 及 2.5% 的  $\text{O}_2$ ，靶材料使用的是組成為  $\text{Pb}_{1.3}((\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})_{0.88}\text{Nb}_{0.12})\text{O}_3$  的材料。成膜壓力為 2.2 mTorr（約

0.293 Pa)，成膜溫度為 450°C。所得的 PZT 膜是以原子組成比計添加有 12% 的 Nb 的 Nb 摻雜 PZT 薄膜。

【0137】 以上述方式形成壓電體層之後，利用剝離 (lift off) 法圖案形成具有 Au/Ti 的層構造的上部電極，最後，自 Si 基板的背面對處理層 (矽基板層) 進行深挖蝕刻 (深層反應離子蝕刻 (Deep Reactive Ion Etching (RIE)))，藉此製成圖 10、圖 11 所示的構成的角速度感測器。

【0138】 再者，當表達膜的積層構造時，將自上層向下層依序積層有 A 材料層、B 材料層、C 材料層的構成表述為「A/B/C」。亦即，表記為：「/」前記載的材料構成上層，「/」後記載的材料構成下層。

【0139】 於 PZT 成膜後的階段，測定整個基板的曲率半徑 ( $R_2$ )，根據該值計算出振動板層 (振動板部分) 與壓電體層合併而成的複合膜的平均應力  $\sigma_{ave}$ 。

【0140】 改變元件尺寸或材料、膜厚等條件進行多種實驗，將每個實驗例的振動板材料、膜厚匯總於表 1 的表中。表 1 是將實驗例的條件及結果匯總的圖表。實驗例中應用的各種振動板層的成膜法是如下所述。

[表 1]

	振動板層 1	振動板層 2	振動板層 3	$\phi_d/\phi_m/h(\mu m)$	PZT 膜厚( $\mu m$ )	PZT 成膜後 曲率半徑 (m)	平均應力 $\sigma_{ave}(MPa)$	Teff (N/mg)
實驗例 1	DLC/3.5 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	無	1000/400/400	1.5	4.7	205	27.5
實驗例 2	DLC/3.5 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	無	1000/400/400	2.0	4.4	199	29.4
實驗例 3	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /0.1 $\mu m$	Poly-Si/0.5 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	2.2	15.0	121	8.6
實驗例 4	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /0.1 $\mu m$	Poly-Si/0.5 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	2.3	14.1	124	9.1
實驗例 5	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /1 $\mu m$	Ti/4.1 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	2.1	1.9	409	68.0
實驗例 6	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /1 $\mu m$	Ti/4.3 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	1.8	1.6	488	80.3
實驗例 7	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /1 $\mu m$	Ti/4.1 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	2.2	1.8	423	72.2
實驗例 8	TEOS-SiO <sub>2</sub> /2.8 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	無	800/400/300	2.0	35.0	23	3.2
實驗例 9	TEOS-SiO <sub>2</sub> /2.8 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	無	700/300/300	2.0	23.0	25	3.0
實驗例 10	TEOS-SiO <sub>2</sub> /2.8 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	無	700/300/300	2.0	13.0	43	5.2
實驗例 11	熱氧化 SiO <sub>2</sub> /1 $\mu m$	TiW/3.7 $\mu m$	Ir/0.15 $\mu m$	1000/400/400	2.3	2.9	279	44.9

【0141】 ·類鑽碳 (Diamond Like Carbon, DLC) : 離子鍍敷 (ion plating) 法

·熱氧化 SiO<sub>2</sub> : 熱氧化法

·TEOS-SiO<sub>2</sub> : 四乙基正矽酸鹽 (Tetra Ethyl Ortho Silicate, TEOS) -CVD 法

·Ti : 濺射法

·TiW : 濺射法

·多晶矽 (Poly-Si) : 低壓 (Low Pressure, LP) -CVD 法

·Ir : 濺射法

而且，關於該等各實驗例，根據元件構造體的尺寸、及構成構造體的材料之彈性參數，使用有限元素法，計算陀螺儀的驅動、檢測的任一者中使用的共振振動模式的共振頻率 (設計值)，將其設計值、及由實際的驅動實驗所得的共振頻率的值的偏差量記錄於表 2 的表中。表 2 是記錄有各實驗例中的共振頻率的設計值、及實際的共振頻率的值的偏差量的圖表。再者，此處的「設計值」

相當於式（6）的右邊的第一項。

[表 2]

	設計值		實驗結果		$\downarrow fz'^2 - fz^2$	$\downarrow fx'^2 - fx^2$
	$fz(kHz)$	$fx(kHz)$	$fz'(kHz)$	$fx'(kHz)$	$\Delta fz^2$	$\Delta fx^2$
實驗例 1	25.0	26.0	39.6	36.0	943.2	617.1
實驗例 2	30.5	31.5	45.2	40.9	1111.9	676.5
實驗例 3	7.3	7.6	11.7	9.9	83.3	40.5
實驗例 4	7.3	7.6	12.2	11.2	95.9	68.2
實驗例 5	22.3	23.6	59.9	54.6	3085.1	2423.6
實驗例 6	23.5	24.5	62.8	56.8	3389.8	2632.5
實驗例 7	21.2	22.4	63.3	56.4	3560.4	2681.9
實驗例 8	25.8	28.5	23.7	26.1	-105.5	-128.1
實驗例 9	31.4	31.1	29.6	29.0	-106.0	-128.6
實驗例 10	31.4	31.1	30.7	30.0	-40.5	-67.1
實驗例 11	24.7	27.0	48.4	45.0	1732.8	1289.8

【0142】 表 2 中，將 Z 方向共振驅動的共振頻率的设计值設為「 $fz$ 」，將 X 方向共振驅動的共振頻率的设计值設為「 $fx$ 」，將根據實驗結果所得的 Z 方向共振頻率及 X 方向共振頻率分別設為「 $fz'$ 」及「 $fx'$ 」。如表 2 所示，共振頻率相對於设计值的偏差量是以平方差進行評價。即，檢查 Z 方向共振頻率的平方差  $\Delta fz^2 = fz'^2 - fz^2$ 、X 方向共振頻率的平方差  $\Delta fx^2 = fx'^2 - fx^2$ 。

【0143】 圖 12 中，根據實驗例 1～實驗例 11 的結果對  $T_{eff}$  與共振頻率的平方差（ $\Delta f^2$ ）的關係進行繪製。圖 12 中，黑點所示的繪製點表示  $\Delta fz^2$ ，空心菱形所示的繪製點表示  $\Delta fx^2$ 。

【0144】 根據圖 12 所示的結果可知， $\Delta f^2$  與  $T_{eff}$  存在比例關係，且錘部於垂直方向（Z 方向，即「膜厚方向」）上進行平移振動的振動模式（稱作 Z 共振）下的共振頻率的平方差  $\Delta fz^2$  更容易受到  $T_{eff}$  的影響。即，若使 Z 共振的共振頻率偏移處於容許範圍內，則元件性能相對於设计的偏差處於容許範圍內。

【0145】 此處，振動板的應力非常強的元件中的材料表現出非線性，因此，共振偏移量會超出式（6）（偏移量變得更大）。因此，利用最小平方法將應力小的區域，即實驗例 3、實驗例 4、實驗例 8、實驗例 9、實驗例 10 中的  $\Delta f_z^2$  與  $T_{\text{eff}}$  的關係進行概算（approximation），發現下式（12）的關係：

【0146】 [數 18]

$$\Delta f_z^2 = 33T_{\text{eff}} - 210 \quad \dots \text{式 (12)}$$

【0147】 。

【0148】 爲了使實際的元件的共振頻率  $f_z'$  的偏移相對於設計共振頻率  $f_z$  而處於 20% 以內，只要滿足下式即可：

【0149】 [數 19]

$$0.8f_z \leq f_z' \leq 1.2f_z$$

亦即，

$$0.64f_z^2 \leq f_z'^2 \leq 1.44f_z^2 \quad \dots \text{式 (13)}$$

【0150】 。

【0151】 而且，因存在式（14）的關係，

【0152】 [數 20]

$$f_z'^2 = f_z^2 + \Delta f^2 \quad \dots \text{式 (14)}$$

【0153】 故，若合併整理式（12）、式（13）、式（14），則適當的  $T_{\text{eff}}$  的範圍成爲下式（15）：

【0154】 [數 21]

$$\frac{-0.36f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.44f^2 + 210}{33} \quad \dots \text{式 (15)}$$

【0155】 。

【0156】 藉由以滿足式 (15) 的方式調節  $\sigma_p$ 、 $\sigma_n$ 、 $t_n$  及  $t_p$  而進行各層的成膜，能將共振頻率相對於設計值的偏移抑制在容許範圍內（此處為 20% 以內的共振頻率偏移）。

【0157】 就角速度感測器（陀螺儀感測器）而言，一般共振頻率相對於設計值偏移 20% 以內即可被容許。較佳為，將共振頻率相對於設計值的偏移抑制在 15% 以內。更佳為，將共振頻率相對於設計值的偏移抑制在 10% 以內。

【0158】 同樣，用於使實際的元件的共振頻率  $fz'$  的偏移相對於設計共振頻率  $fz$  處於 15% 以內的  $T_{\text{eff}}$  的範圍成為下式 (16)：

【0159】 [數 22]

$$\frac{-0.28f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.32f^2 + 210}{33} \quad \dots \text{式 (16)}$$

【0160】 。

【0161】 藉由以滿足式 (16) 的方式調節  $\sigma_p$ 、 $\sigma_n$ 、 $t_n$  及  $t_p$  而進行各層的成膜，能將共振頻率相對於設計值的偏移抑制在容許範圍內（此處為 15% 以內的共振頻率偏移）。

【0162】 同樣，用於使實際的元件的共振頻率  $fz'$  的偏移相對於設計共振頻率  $fz$  處於 10% 以內的  $T_{\text{eff}}$  的範圍成為下式 (17)：

【0163】 [數 23]

$$\frac{-0.19f^2 + 210}{33} \leq T_{eff} \leq \frac{0.21f^2 + 210}{33} \quad \dots \text{式 (17)}$$

【0164】。

【0165】藉由以滿足式 (17) 的方式調節  $\sigma_p$ 、 $\sigma_n$ 、 $t_n$  及  $t_p$  而進行各層的成膜，能將共振頻率相對於設計值的偏移抑制在容許範圍內（此處為 10% 以內的共振頻率偏移）。

【0166】再者，當使用 SOI 基板時，將膜片直徑  $\phi_d$  小型化為 1000 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 以下極其困難，但藉由應用本發明，如實驗例 8～實驗例 10 所示，能使膜片徑  $\phi_d$  縮小為如 800  $\mu\text{m}$  (實驗例 8)、700  $\mu\text{m}$  (實驗例 9、實驗例 10)。

【0167】實驗例 8～實驗例 10 是於元件的小型化、及抑制共振頻率相對於設計值的偏移量的方面尤佳的形態。

【0168】〈應用例〉

例如，當使用 SOI 晶圓作為基板時，作為振動板的主要部分的元件層 (Si 活性層) 在原理上無應力，但當成膜於該 SOI 晶圓上的壓電體膜的殘留應力大時，可能會導致共振頻率的值與設計值相比而言產生偏移，不滿足作為元件的規格值。

【0169】當壓電體薄膜為 PZT 膜時，一般而言，具有拉伸方向的殘留應力。此時，只要插入應力控制層作為構成振動板的層，且使根據式 (7) 計算出的  $T_{eff}$  處於式 (15)、式 (16) 或式 (17) 所指定的範圍內，則能將共振頻率的偏移量抑制在容許範圍內。

【0170】作為一例，考慮作為應力控制層，於元件層 (Si 活性層)

的表面以規定的膜厚形成具有壓縮應力的熱氧化  $\text{SiO}_2$ ，使  $T_{\text{eff}}$  處於範圍內。

【0171】 藉由適當組合具有壓縮應力的膜及具有拉伸應力的膜而形成積層構造，能控制複合膜的應力。

【0172】 〈壓電材料〉

作為適於本實施方式的壓電體，可列舉包含下述式所示的 1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物 (P) 的壓電體。

【0173】 通式  $\text{ABO}_3\text{...}$  (P)

(式中，A：A 位置的元素，且為包含 Pb 的至少 1 種元素；

【0174】 B：B 位置的元素，且為選自由 Ti、Zr、V、Nb、Ta、Sb、Cr、Mo、W、Mn、Sc、Co、Cu、In、Sn、Ga、Zn、Cd、Fe 及 Ni 組成的群組中的至少 1 種元素；

【0175】 O：氧元素；

【0176】 A 位置元素、B 位置元素與氧元素的莫耳比的標準是 1：1：3，但它們的莫耳比亦可於能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。)

作為上述通式所示的鈣鈦礦型氧化物，可列舉鈦酸鉛、銦鈦酸鉛 (PZT)、銦酸鉛、鈦酸鉛鏤、銦鈦酸鉛鏤、鎂銻酸銦鈦酸鉛、鎳銻酸銦鈦酸鉛、鋅銻酸銦鈦酸鉛等含鉛化合物及它們的混晶系；鈦酸鋇、鈦酸鋇鋇、鈦酸鋇鈉、鈦酸鋇鉀、銻酸鈉、銻酸鉀、銻酸鋰、鋇鐵氧體等無鉛化合物及它們的混晶系。

【0177】 而且，本實施方式的壓電體膜較佳為含有下述式所示的

1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物 (PX)。

**【0178】** 通式 (PX)  $A_a (Zr_x, Ti_y, M_{b-x-y})_b O_c \cdots (PX)$

(式中，A：A 位置的元素，且為包含 Pb 的至少 1 種元素；

**【0179】** M 是選自由 V、Nb、Ta 及 Sb 組成的群組中的至少 1 種元素； $0 < x < b$ 、 $0 < y < b$ 、 $0 \leq b-x-y$ ；

**【0180】** 雖標準為  $a : b : c = 1 : 1 : 3$ ，但它們的莫耳比亦可在能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。)

鈣鈦礦型氧化物 (PX) 是本徵 PZT、或 PZT 的 B 位置的一部分被 M 取代而得的物質。可知，於添加有具有高於被取代離子的價數的各種施體離子 (donor ion) 的 PZT 中，能使壓電性能等特性較本徵 PZT 進一步提高。較佳為，M 是價數大於 4 價的 Zr、Ti 的 1 種或 2 種以上的施體離子。作為上述施體離子，可列舉  $v^{5+}$ 、 $Nb^{5+}$ 、 $Ta^{5+}$ 、 $Sb^{5+}$ 、 $Mo^{6+}$ 、及  $W^{6+}$  等。

**【0181】**  $b-x-y$  只要處於能獲得鈣鈦礦構造的範圍則無特別限制。例如，當 M 為 Nb 時， $Nb/(Zr+Ti+Nb)$  的莫耳比較佳為 0.05 以上、0.25 以下，更佳為 0.06 以上、0.20 以下。

**【0182】** 包含由上述的通式 (P) 及 (PX) 表示的鈣鈦礦型氧化物的壓電體膜具有高的壓電應變常數 (d31 常數)，因此，具備該壓電體膜的壓電元件的位移特性、檢測特性優良。

**【0183】** 而且，具備包含由通式 (P) 及 (PX) 表示的鈣鈦礦型氧化物的壓電體膜的壓電元件具有線性 (linearity) 優良的電壓-位移特性。該等壓電材料在實施本發明時體現出良好的制動器

(actuator) 特性、感測器特性。再者，通式 (PX) 表示的鈣鈦礦型氧化物的壓電常數高於通式 (P) 表示的鈣鈦礦型氧化物。

**【0184】** 作為本實施方式中的壓電體層 32 的一具體例，例如，可使用以原子組成百分率計摻有 12% 的 Nb 的銦鈦酸鉛 (PZT) 薄膜。藉由利用濺射法等成膜為摻有 12% 的 Nb 的 PZT，能穩定地製作具有壓電常數為  $d_{31}=250 \text{ pm/V}$  的高壓電特性的薄膜。較佳的構成為：利用氣相生長法或溶膠-凝膠法等於基板上直接成膜為壓電薄膜。尤其是，作為本實施方式的壓電體層，較佳為厚度為  $1 \mu\text{m}$  以上、 $10 \mu\text{m}$  以下的薄膜。

**【0185】** 〈成膜方法〉

作為壓電體的成膜方法，較佳為氣相生長法。例如，除濺射法之外，亦可應用離子鍍敷法、有機金屬氣相生長法（金屬有機化學氣相沈積 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)）法、脈衝雷射沈積法 (Pulsed Laser Deposition, PLD) 等各種方法。而且，亦考慮使用氣相生長法以外的方法（例如，溶膠-凝膠法等）。

**【0186】** 藉由利用濺射法於基板上直接成膜為 PZT 薄膜、且使壓電體薄膜化，能使製作製程變得簡便。而且，以上述方式成膜的壓電體薄膜可利用蝕刻等容易地進行精細加工，且能圖案形成為所需的形狀。藉此，良率能大幅提高，且能對應於元件的進一步小型化。

**【0187】** 實施本發明時，基板材料、電極材料、壓電材料、膜

厚、成膜條件等可根據目的而適當選擇。

**【0188】** 〈變形例〉

圖 1 中，是對於俯視時呈圓形的膜片部進行說明，但膜片部不僅限於圓形，亦可構成爲俯視時呈橢圓形的膜片部或俯視時呈多邊形的膜片部。

**【0189】** 本發明並不限於以上所說明的實施方式，可由掌握本領域的通常知識的技術人員在本發明的技術思想內實施多種變形。

**【符號說明】**

**【0190】**

2-2、11-11：線

10：角速度感測器

12：膜片部

14、114、214、264、614：錘部

16、116、216、266、616：台座部

20、120：振動板層

21、121、221：第 1 振動板層

22、122、222：第 2 振動板層

30、130、630：下部電極

32、132、230、632：壓電體層

34、134、634：上部電極

35A～35D、135、635：驅動電極部

36A～36D、136、636：檢測電極部

- 110：矽（Si）基板
- 112：膜片部
- 123：第3振動板層
- 150：振動板部分
- 210：基板
- 212、262：膜片部
- 250：基材
- 251、252：膜層
- 260：積層體
- 600：SOI基板
- 602：處理層
- 604：元件層
- 606：SiO<sub>2</sub>層
- 612：經深挖蝕刻除去後的部分
- C<sub>L</sub>：中心軸
- h：厚度
- R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>：曲率半徑
- t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>、t<sub>p</sub>：膜厚
- t<sub>s</sub>：板厚
- σ<sub>1</sub>、σ<sub>2</sub>、σ<sub>3</sub>、σ<sub>p</sub>：殘留應力
- φ<sub>d</sub>、φ<sub>m</sub>：外徑
- x、y、z：方向

## 申請專利範圍

1. 一種角速度感測器，具備：

膜片部，具有積層構造且具有可撓性，上述積層構造是由圖案配置有驅動電極部及檢測電極部的上部電極、壓電體層、下部電極及 1 層以上的振動板層積層而成；

台座部，支撐上述膜片部的外周；及

錘部，接合於上述膜片部的中心部；且

上述角速度感測器藉由經由上述驅動電極部而對上述壓電體層施加電場，而利用壓電體的逆壓電效應來使上述錘部振動，且利用壓電效應而由上述檢測電極部檢測出上述錘部基於科氏力而產生的位移；上述角速度感測器中：

上述振動板層是利用薄膜形成技術而成膜，

當將根據上述角速度感測器的構造體的尺寸、及構成上述構造體的材料的彈性參數計算出的共振振動模式的共振頻率設為  $f$  千赫，將上述錘部的質量設為  $M$  毫克，將上述膜片部的周長設為  $r$  米，將上述壓電體層上的應力設為  $\sigma_p$  帕斯卡，將上述壓電體層的膜厚設為  $t_p$  米，將由包括上述下部電極及上述 1 層以上的振動板層的多層所構成的振動板部分中自上述錘部側數起的第  $n$  層上的應力設為  $\sigma_n$  帕斯卡，且將上述第  $n$  層的膜厚設為  $t_n$  米時，若將  $n$  設為自然數，則

[數 1]

$$T_{\sigma} = \frac{r \left( \sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n \right)}{M}$$

所表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足

[數 2]

$$\frac{-0.36f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.44f^2 + 210}{33}。$$

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的角速度感測器，其滿足

[數 3]

$$\frac{-0.28f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.32f^2 + 210}{33}。$$

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的角速度感測器，其滿足

[數 4]

$$\frac{-0.19f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.21f^2 + 210}{33}。$$

4. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，上述振動板層的膜厚為 5 微米以下。

5. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，具有上述共振頻率  $f$  的振動模式是上述錘部於膜厚方向上進行平移運動的振動形態。

6. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，上述振動板層是藉由氣相成膜而形成的膜。

7. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，上述壓電體層是利用濺射法而成膜的薄膜。

8. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，上述壓電體層是由下述式 (P) 表示的 1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物，



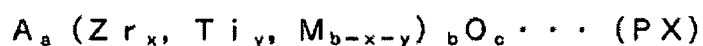
式中，A：A 位置的元素，且為包含 Pb 的至少 1 種元素；

B：B 位置的元素，且為選自由 Ti、Zr、V、Nb、Ta、Sb、Cr、Mo、W、Mn、Sc、Co、Cu、In、Sn、Ga、Zn、Cd、Fe 及 Ni 組成的群組中的至少 1 種元素；

O：氧元素；

A 位置元素、B 位置元素與氧元素的莫耳比的標準是 1：1：3，但它們的莫耳比亦可於能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。

9. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感測器，其中，上述壓電體層是由下述式 (PX) 表示的 1 種或 2 種以上的鈣鈦礦型氧化物，



式中，A：A 位置的元素，且為包含 Pb 的至少 1 種元素；

M 為選自由 V、Nb、Ta 及 Sb 組成的群組中的至少 1 種元素，  
 $0 < x < b$ 、 $0 < y < b$ 、 $0 \leq b - x - y$ ；

標準為  $a : b : c = 1 : 1 : 3$ ，但它們的莫耳比亦可於能獲得鈣鈦礦構造的範圍內偏離基準莫耳比。

10. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感

測器，其中，上述振動板層是於矽基板上成膜而獲得；

上述錘部與上述台座部包含藉由對形成有上述振動板層的上  
述矽基板的一部分進行移除處理而殘留的上述矽基板的殘餘部。

11. 如申請專利範圍第 1 項至第 3 項中任一項所述的角速度感  
測器，其中，上述膜片部具有俯視時呈圓或橢圓的外周形狀，

上述錘部配置於與上述膜片部的中心軸共通的上述圓或上述  
橢圓的同心位置。

12. 一種角速度感測器的製造方法，上述角速度感測器具備：

膜片部，具有積層構造且具有可撓性，上述積層構造是由圖  
案配置有驅動電極部及檢測電極部的上部電極、壓電體層、下部  
電極、1 層以上的振動板層積層而成；

台座部，支撐上述膜片部的外周；及

錘部，接合於上述膜片部的中心部；且

上述角速度感測器藉由經由上述驅動電極部而對上述壓電體  
層施加電場，而利用壓電體的逆壓電效應來使上述錘部振動，且  
利用壓電效應而由上述檢測電極部檢測出上述錘部基於科氏力而  
產生的位移；上述角速度感測器的製造方法中，

使用薄膜形成技術形成上述 1 層以上的上述振動板層，

以如下方式調節  $\sigma_p$ 、 $\sigma_n$ 、 $t_n$  及  $t_p$ ：當將根據上述角速度感測器  
的構造體的尺寸、及構成上述構造體的材料的彈性參數而計算出  
的共振振動模式的共振頻率設為  $f$  千赫，將上述錘部的質量設為  $M$   
毫克，將上述膜片部的周長設為  $r$  米，將上述壓電體層上的應力

設為上述  $\sigma_p$  帕斯卡，將上述壓電體層的膜厚設為上述  $t_p$  米，將由包括上述下部電極及上述 1 層以上的振動板層的多層所構成的振動板部分中自上述錘部側數起的第  $n$  層上的應力設為上述  $\sigma_n$  帕斯卡，且將上述第  $n$  層的膜厚設為上述  $t_n$  米時，若將  $n$  設為自然數，則

[數 5]

$$T_{\sigma} = \frac{r \left( \sigma_p t_p + \sum_n \sigma_n t_n \right)}{M}$$

所表示的  $T_{\text{eff}}$  滿足

[數 6]

$$\frac{-0.36f^2 + 210}{33} \leq T_{\sigma} \leq \frac{0.44f^2 + 210}{33} \quad \circ$$

圖式

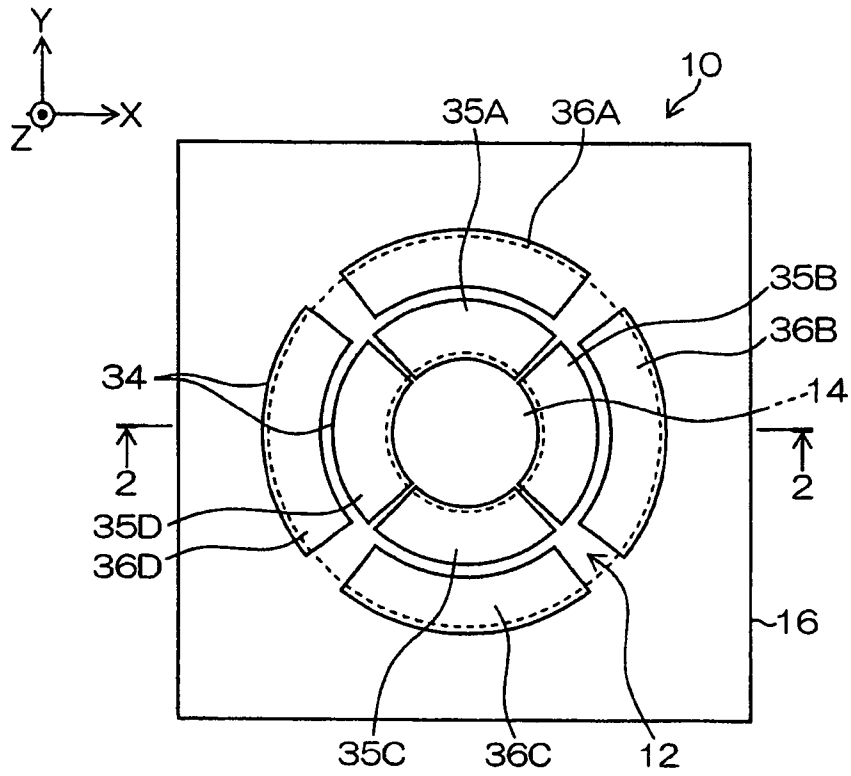


圖 1

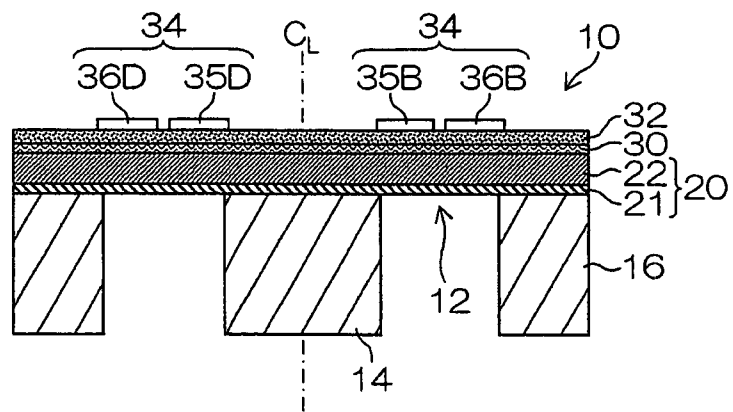


圖 2

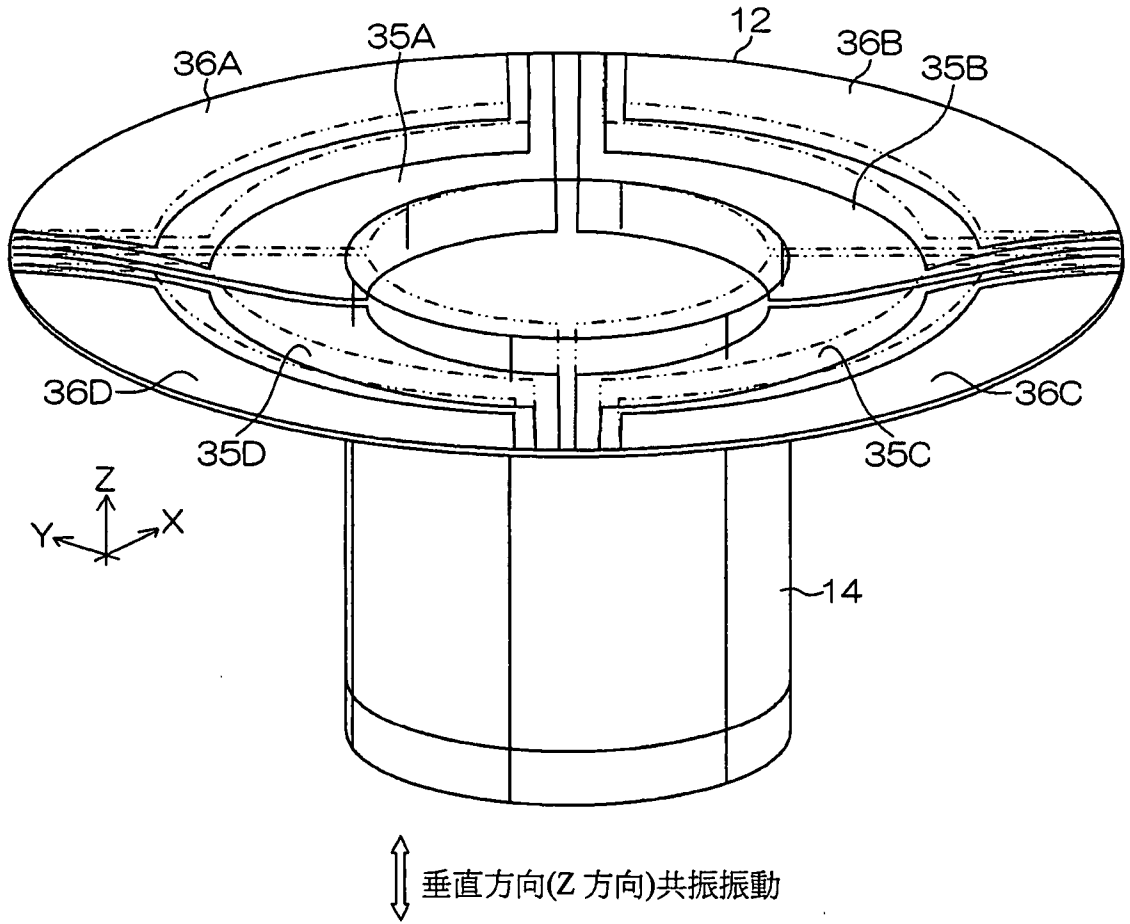
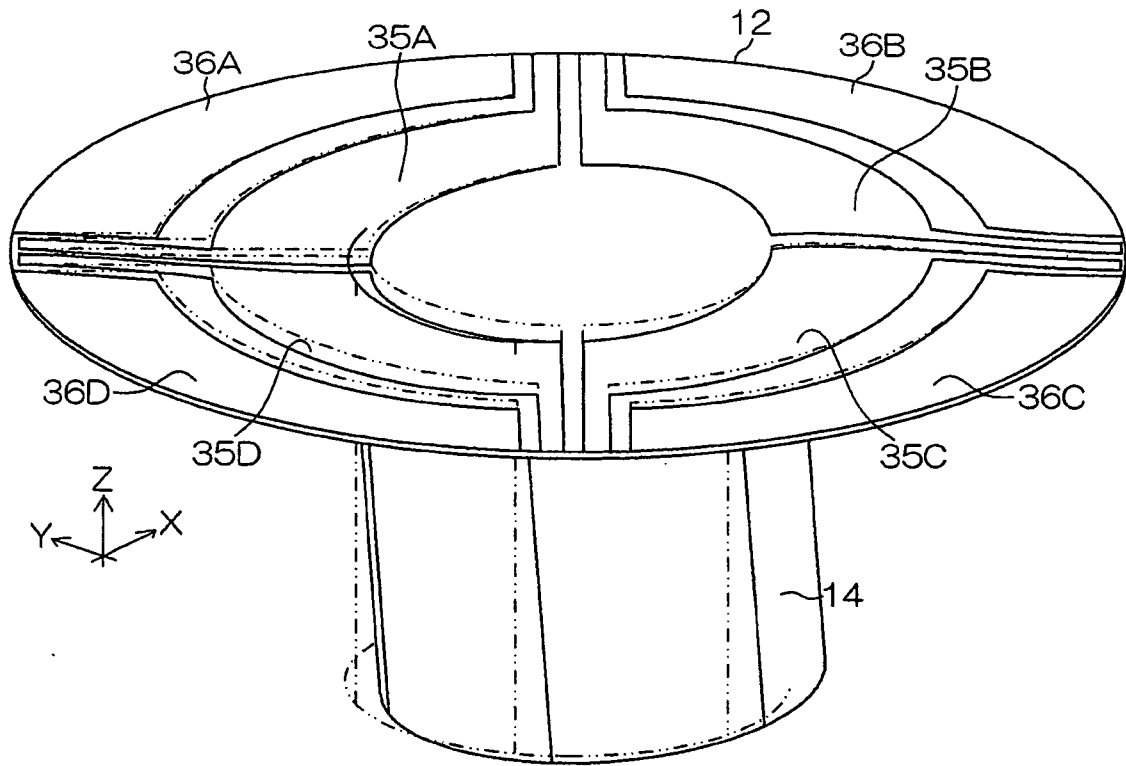


圖 3



↗ 水平方向(X 方向)共振振動

圖 4

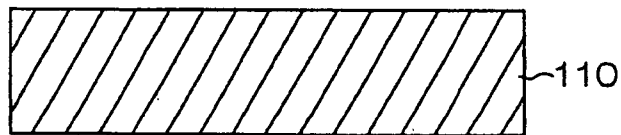


圖 5A

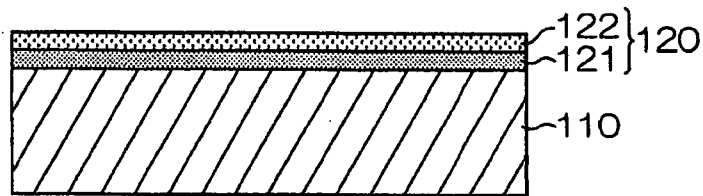


圖 5B

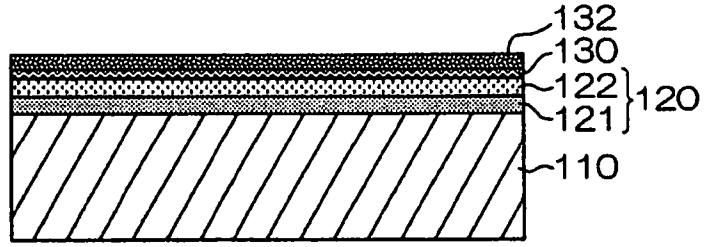


圖 5C

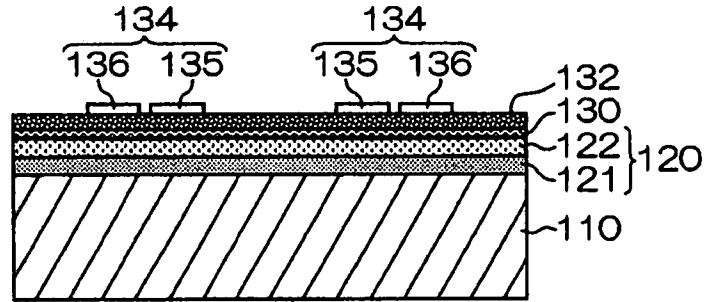


圖 5D

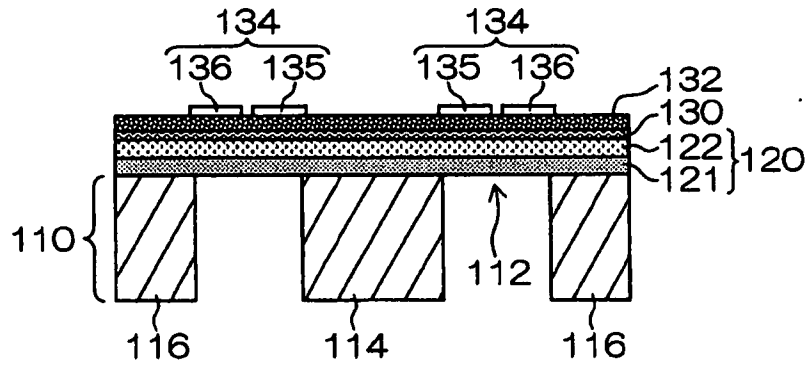


圖 5E

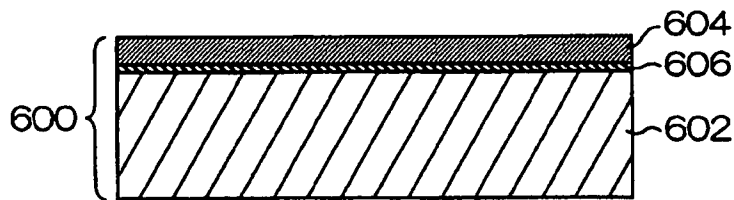


圖 6A

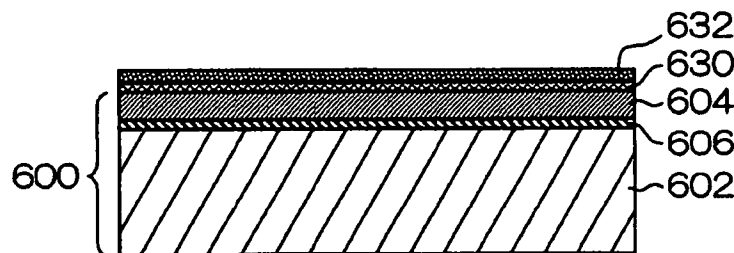


圖 6B

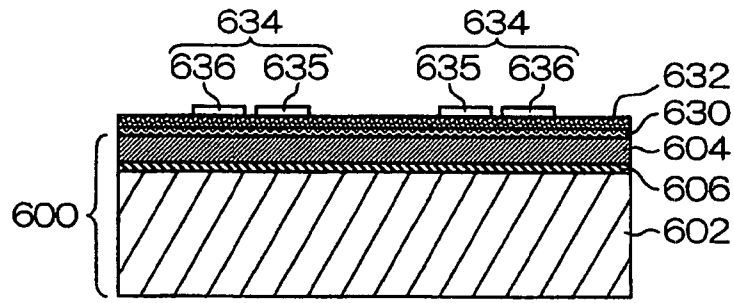


圖 6C

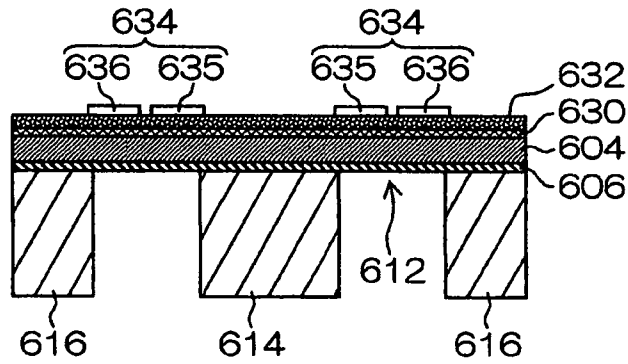


圖 6D

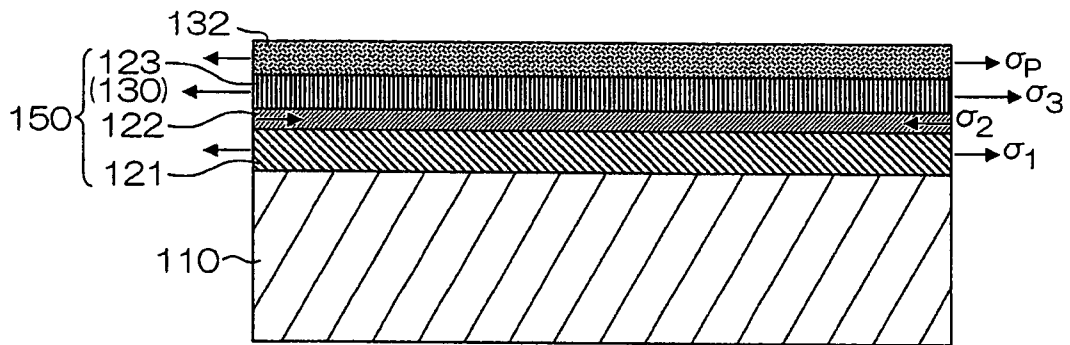


圖 7

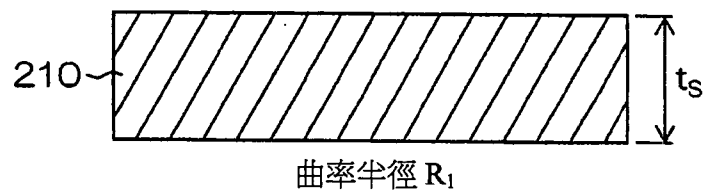
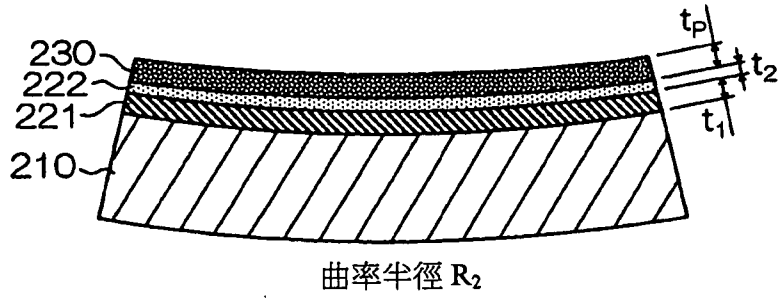


圖 8A



曲率半徑  $R_2$

圖 8B

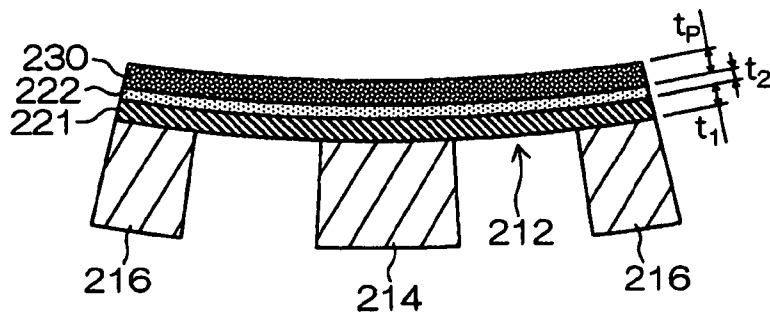


圖 8C

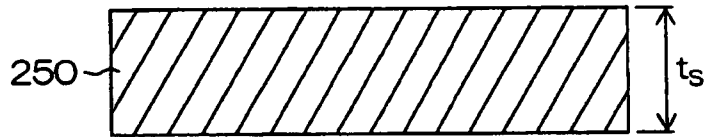
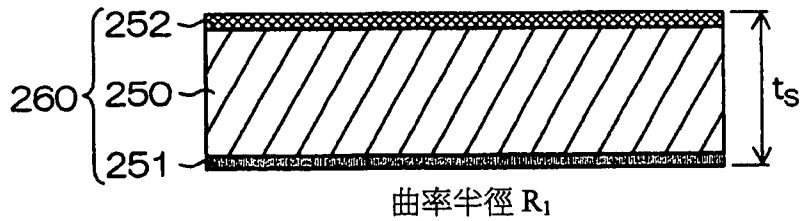


圖 9A



曲率半徑  $R_1$

圖 9B

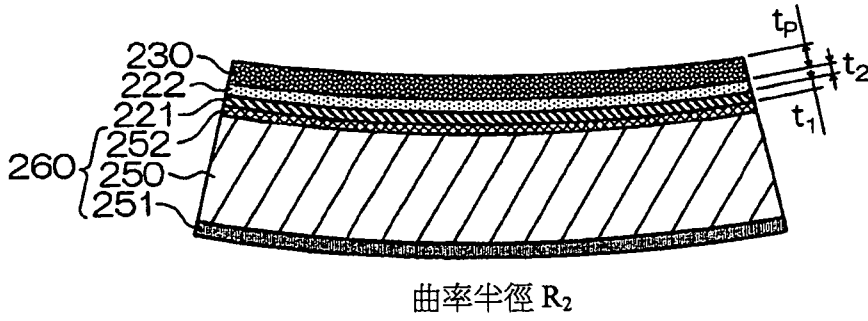


圖 9C

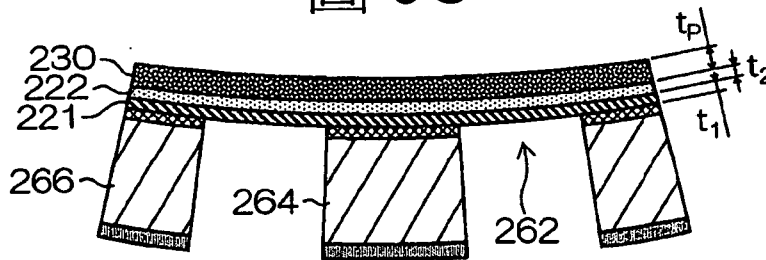


圖 9D

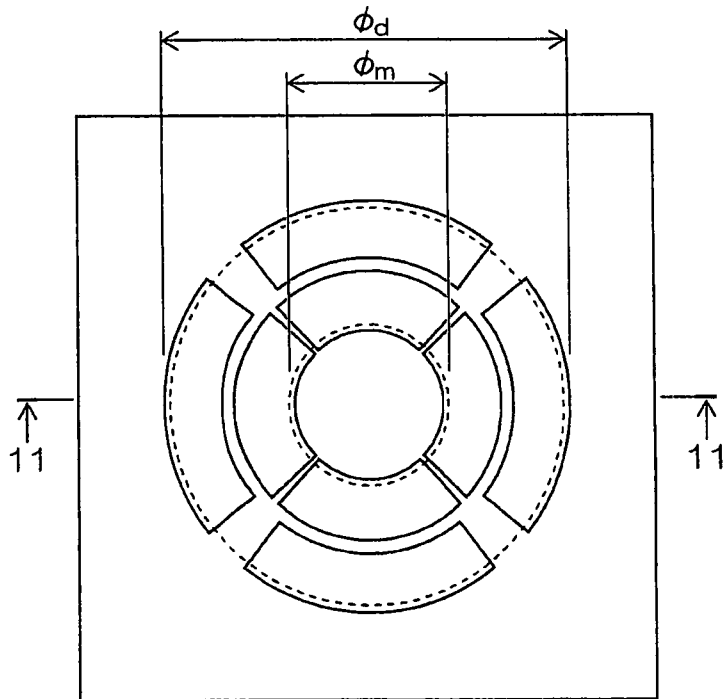


圖 10

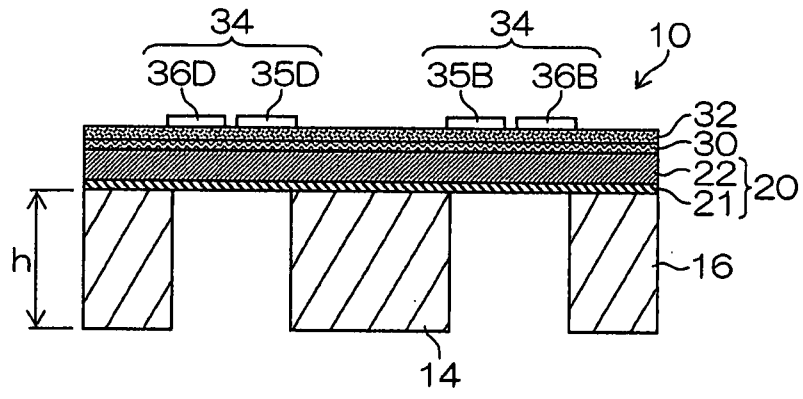


圖 11

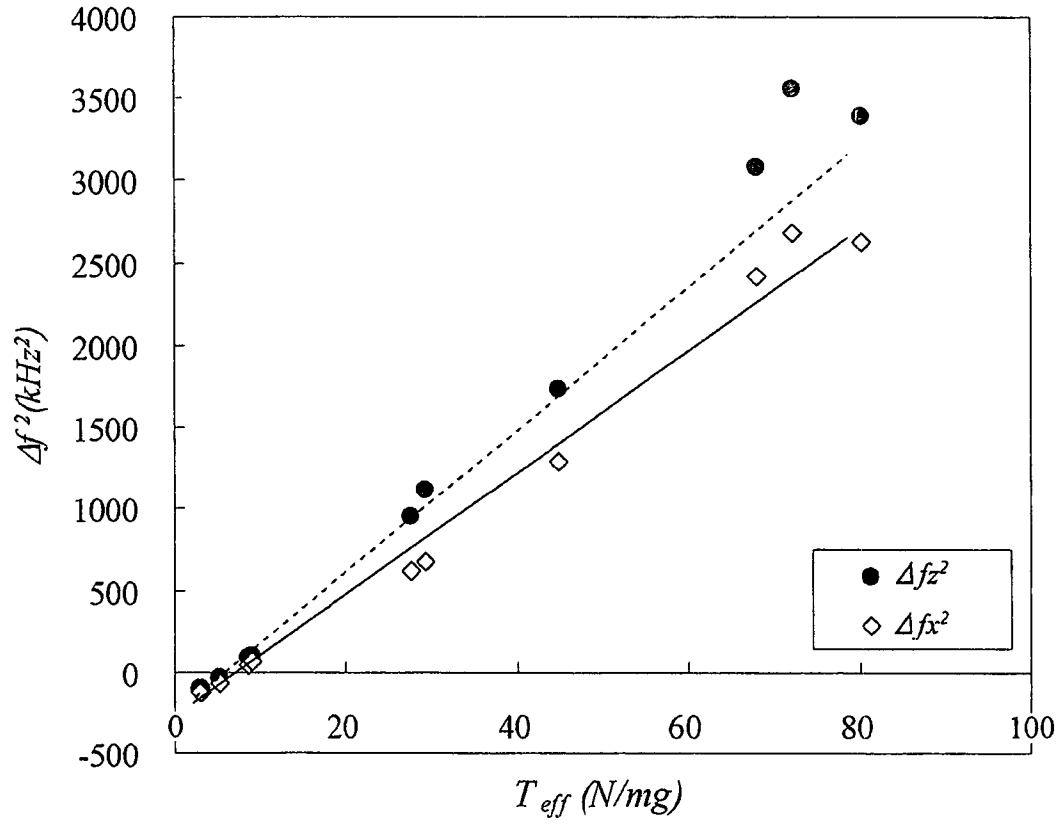


圖 12